

Министерство образования и науки РФ

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УДК

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке

_____ Кружаев В.В.

«___» _____ 2013

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

В рамках выполнения п.2.1.1.1 Плана реализации мероприятий
Программы развития УрФУ на 2013 год

по теме:

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ КИСЛОРОД-ВАКАНСИОННЫХ
ЦЕНТРОВ В ОБЛУЧЕННЫХ МОНОКРИСТАЛЛАХ AlN
(Заключительный)

Директор НОЦ НАНОТЕХ
д-р физ.-мат. наук, профессор

(подпись, дата)

Вайнштейн И.А.

Исполнитель

(подпись, дата)

Спиридонов Д.М.

Екатеринбург 2013

РЕФЕРАТ

1. ФИО автора (ов):

Спиридонов Дмитрий Михайлович / Spiridonov Dmitriy Mikhailovich.

2. Аннотация:

Целью работы является изучение механизмов люминесценции с участием дефектных комплексов на основе кислородных примесей и азотных вакансий в нитриде алюминия после воздействия ионизирующего излучения.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- определены спектральные и кинетические параметры для различных механизмов стимуляции в образцах;
- получены фундаментальные данные о центрах свечения и механизмах люминесценции в объемных монокристаллах AlN;
- проведена оценка дозиметрических параметров монокристаллов AlN при использовании методик оптически стимулированной люминесценции.

Выполнение заявленных исследований материалов на основе монокристаллического нитрида алюминия позволило получить новые научные результаты, которые могут быть использованы при создании более совершенных детекторов для различных задач персональной и технической дозиметрии ионизирующих излучений.

Результаты работы представлены на XIV-ой Всероссийской школы-семинара по проблемам физики конденсированного состояния вещества (Екатеринбург, 2013). В настоящий момент готовится 1 статья для публикации в одном из реферируемых иностранных журналов. Кроме того в рамках выполнения научно-исследовательской работы были получены дополнительные экспериментальные данные, которые позволили написать одну из глав диссертации.

The aim is to study the luminescence mechanisms with participation of the defect complexes on the basis of oxygen impurities and nitrogen vacancies in the aluminum nitride after exposure to ionizing radiation.

To achieve this purpose the following objectives have been solved:

- defined spectral and kinetic parameters for the different mechanisms of luminescence in the samples;

- obtained fundamental data on the luminescence centers and mechanisms of luminescence in AlN bulk single crystals;
- evaluated the dosimetric parameters of AlN single crystals by using optically stimulated luminescence techniques.

Performance of applications for studies of materials based on aluminum nitride single crystal provided new scientific results that can be used to create improved detectors for different tasks personal and technical dosimetry of ionizing radiation.

The results of the work presented at the XIV All-Russian seminar on condensed matter physics (Ekaterinburg, 2013). Currently preparing one article for publication in a peer-reviewed international journal. Also as part of the research work has yielded experimental data that allowed to write one of the dissertation chapters.

3. Ключевые слова:

*люминесценция, нитрид алюминия, монокристаллы, термолюминесценция, ТЛ, оптически стимулированная люминесценция, ОСЛ, детектор, дефекты
luminescence, aluminum nitride, single crystals, thermoluminescence, TL, optically stimulated luminescence, OSL, detector, defects*

4. Тема отчета:

Исследование люминесцентных свойств кислород-вакансионных центров в облученных монокристаллах AlN
Study of the luminescence properties of the oxygen-vacancy centers in irradiated AlN single crystals.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ	2
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
1. ОБРАЗЦЫ И АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ	7
1.1. Монокристаллические образцы AlN	7
1.2. Измерительный комплекс для исследования термо-, фото- и оптически стимулированных процессов в твердых телах	8
1.3. Люминесцентный спектрометр LS 55	9
3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ	10
3.1. Спектры фотолюминесценции	10
3.2. Люминесценция в β -облученном нитриде алюминия	13
3.3. Дозовые зависимости ОСЛ для монокристаллов AlN	18
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	20
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	21

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

Сокращения

УФ	– ультрафиолет, ультрафиолетовый
ОСЛ	– оптически стимулированная люминесценция
ТЛ	– термолюминесценция

Условные обозначения

$T_{\text{МАКС}}$	– температурное положение максимума ТЛ-кривой
ω	– полуширина кривой
μ_g	– «фактор формы» ТЛ-кривой
S	– светосумма
$I_{\text{МАКС}}$	– максимальная интенсивность
I_0	– начальная интенсивность
n_0	– концентрация заполненных ловушек носителей

ВВЕДЕНИЕ

Интерес к изучению люминесцентных свойств материалов на основе AlN обусловлен их широким применением в микро- и оптоэлектронике. Наряду с традиционным использованием объемные монокристаллы нитрида алюминия, синтез которых ведется сравнительно недавно, рассматриваются как высокочувствительные матрицы для создания ТЛ- и ОСЛ- детекторов ионизирующих излучений. При этом заметная роль при формировании электрофизических и дозиметрических свойств указанных материалов принадлежит оптически активным комплексам на базе примесных дефектов. В связи с этим идентификация данных центров свечения может представлять существенный интерес как с фундаментальной, так и с прикладной точек зрения.

Целью настоящего проекта является изучение механизмов люминесценции с участием дефектных комплексов на основе кислородных примесей и азотных вакансий в нитриде алюминия после воздействия ионизирующего излучения.

Для достижения поставленной цели в рамках заявляемого проекта выполнены следующие задачи:

- определены спектральные и кинетические параметры для различных механизмов стимуляции в образцах;
- получены фундаментальные данные о центрах свечения и механизмах люминесценции в объемных монокристаллах AlN;
- проведена оценка дозиметрических параметров монокристаллов AlN при использовании методик оптически стимулированной люминесценции.

Выполнение заявленных исследований материалов на основе монокристаллического AlN позволили получить новые научные результаты, которые могут быть использованы при создании более совершенных детекторов для различных задач персональной и технической дозиметрии ионизирующих излучений.

1. ОБРАЗЦЫ И АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В рамках выполнения настоящей работы была проведена серия экспериментов, посвященная исследованию особенностей люминесценции в объемных монокристаллах AlN при различных видах возбуждения. Измерялись кривые термо-, фото- и оптически стимулированной люминесценции, дозовые зависимости при β -облучении образцов AlN. Описание исследованных образцов и аппаратуры, применяемой в экспериментах, представлено ниже.

1.1. Объемные монокристаллы AlN

Базовыми объектами исследований являлись образцы номинально чистых объемных монокристаллов нитрида алюминия (рисунок 1.1), которые были получены из предварительно отожженного в высоком вакууме мелкодисперсного промышленного порошка AlN методом сублимации-реконденсации при температурах 1900-2000 °С в атмосфере азота [1]. В поляризованном свете и в соответствии с рентгеновскими исследованиями большинство кристаллов имеет блочную структуру с разными размерами блоков. Внутри блоков кристалл имеет высокую степень совершенства: метод селективного травления показывает плотность дислокаций в блоках от 0 до 10^5 см^{-2} .

По данным масс-спектропии содержание примесей кислорода не превышало 10^{18} см^{-3} [2]. В окончательном виде образцы представляют собой диски диаметром 15 мм, массой 0.13 – 0.18 грамм и толщиной 0.25 – 0.50 мм с качеством обработки поверхности epi-ready.

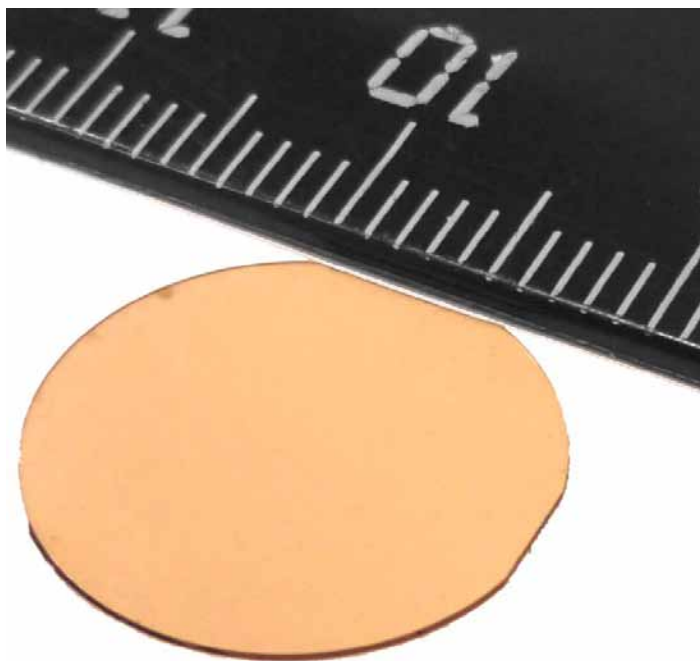


Рисунок 1.1 – Объемный монокристалл AlN

1.2. Измерительный комплекс для исследования термо-, фото- и оптически стимулированных процессов в твердых телах

Основная часть исследований была проведена на экспериментальной установке для изучения ТЛ и ФЛ кристаллов, на кафедре ФМПК Физико-технологического института УрФУ [3]. Основные принципы работы установки приведены ниже (подробное устройство работы описано в [4]).

Измерительная камера для проведения исследований образцов представляет собой стальной корпус с входным и выходным окном, в который интегрирована система нагрева, включающая нагревательный столик, термопару, усилитель сигнала термопары и блок регулирования мощности нагрева. Облучение образца производится через входное окно камеры. Люминесценция регистрируется через выходное окно камеры.

Для облучения исследуемых образцов могут применяться источники излучения различной природы:

- дейтериевые лампы ДДС-30 и ЛД (Д) со стандартными блоками питания;
- источники β -излучения $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ с мощностями 43 мкГр/мин и 32 мГр/мин в месте расположения образца;
- установка рентгеновского излучения УРС-55;
- ртутная лампа типа ДРТ-230.

В данной установке люминесцентное свечение регистрируется фотоэлектронным умножителем типа ФЭУ-39А, работающим в счетном режиме и имеющий максимальную чувствительность в синей области (около 400 нм). При увеличении длины волны регистрируемого излучения чувствительность монотонно убывает и достигает значения 0.14 при 600 нм. Коротковолновое плечо данной характеристики имеет участок с практически постоянной чувствительностью равной ≈ 0.5 в диапазоне длин волн 200 ÷ 300 нм.

1.3. Люминесцентный спектрометр LS 55

Исследования процессов фотолюминесценции проводились при комнатной температуре на спектрометре LS55 (Perkin Elmer) в режиме фосфоресценции. Данный однолучевой люминесцентный спектрометр позволяет проводить исследования процессов флуоресценции, фосфоресценции, хеми- и биолюминесценции. Источником света в приборе является ксеноновая лампа мощностью 150 Вт, работающая в пульсирующем режиме с частотой 50 Гц. Возбуждение может проводиться в диапазоне 200-800 нм. Регистрации свечения происходит в области 200-900 нм при использовании штатного фотоэлектронного умножителя R928. Ширина щели возбуждения может быть установлена в пределах 2.5-15.0 нм с шагом 0.1 нм. Ширина щели эмиссии – 2.5-20.0 нм. Точность определения длины волны составляет ± 0.1 нм.

2. МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Регистрация спектров фотолюминесценции велась на спектрометре LS 55 через монохроматор с щелью 10 нм в спектральной области 300 – 600 нм при длинах волн возбуждения 230 и 275 нм. Скорость сканирования была установлена 120 нм/мин.

Исследования ТЛ и ОСЛ проводились на оригинальной спектрометрической установке. Для стимуляции ОСЛ применялся зеленый лазер с диодной накачкой (150 мВт, 532 нм), работающий в непрерывном режиме. Интенсивность стимулирующего лазерного излучения составляла 25 мВт/см². Свечение от образца проходило через набор оптических стекол, обеспечивающих полосу пропускания 3.25 эВ с полушириной 0.27 эВ, и регистрировалось фотоэлектронным умножителем ФЭУ-39А, работающим в счетном режиме. Непосредственно перед измерениями образцы предварительно облучались β -излучением источника $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ мощностью 32 мГр/мин дозой в диапазоне 2.7 – 960 мГр и выдерживались в течение 5 мин в темноте при комнатной температуре. Далее велась запись ОСЛ сигнала в течение 10 мин. Затем образец подвергался отжигу до 823 К. После чего цикл измерений повторялся для других значений дозы облучения D .

Данная термическая обработка необходима для полного опустошения ловушек носителей заряда, ответственных за люминесценцию в регистрируемом спектральном диапазоне. Затем цикл измерений повторялся для другой дозы облучения.

Для дозы облучения 64 мГр регистрировались ТЛ зависимости при скорости нагрева 2 К/с до и после измерения CW-ОСЛ.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Спектры фотолюминесценции

Экспериментальные спектры ФЛ, представляющие собой широкую структурированную полосу, приведены ниже на рисунке 3.1. Анализ показал, что обе зависимости с хорошей степенью точности ($R^2=0.999$) могут быть аппроксимированы четырьмя компонентами гауссовой формы. Полученные полосы спектров приведены на рисунке. Обнаружено, что для выделенных компонент максимум свечения достигается при энергиях 2.55, 2.77, 3.18 и 3.46 эВ. Полуширина компонент составила 0.61, 0.42, 0.28 и 0.52 эВ, соответственно. Кроме того стоит заметить, что при облучении образцов светом с энергией 5.39 эВ (230 нм) в спектрах доминируют полосы G3 и G4, при этом вклад пиков G1 и G2 незначителен. В случае же уменьшения энергии возбуждения 4.51 эВ (275 нм) наблюдается обратная картина: усиливается свечение G1 и G2, и интенсивность G3 и G4 падает.

Далее для рассмотренных выше полос свечения был проведен анализ спектров их возбуждения. Установлено, что они характеризуются сложной структурой и описываются суперпозицией семи гауссианов (рис. 3.2). Значения энергии максимума и полуширины пика для каждой из полученных компонент приведены в таблице 3.1. Показано, что возбуждение полос G1 и G2 происходит в большей мере за счет компонент 1-4. В случае же полос G3 и G4 в СВЛ преобладают компоненты 4-7.

Таблица 3.1 – Параметры компонент спектров возбуждения

Компоненты спектров возбуждения		Регистрируемое свечение			
		G1	G2	G3	G4
1	$E_{\text{макс}}$, эВ	4.34	4.30	4.35	–
	ω , эВ	0.34	0.24	0.29	–
2	$E_{\text{макс}}$, эВ	4.55	4.52	4.58	4.50
	ω , эВ	0.23	0.29	0.25	0.24
3	$E_{\text{макс}}$, эВ	4.71	4.71	4.72	4.7
	ω , эВ	0.18	0.16	0.15	0.18
4	$E_{\text{макс}}$, эВ	4.91	4.89	5.00	5.01
	ω , эВ	0.3	0.31	0.35	0.33
5	$E_{\text{макс}}$, эВ	5.27	5.33	5.34	5.34
	ω , эВ	0.41	0.39	0.28	0.28
6	$E_{\text{макс}}$, эВ	5.65	5.72	5.62	5.61
	ω , эВ	0.21	0.24	0.23	0.23
7	$E_{\text{макс}}$, эВ	6.02	5.98	5.87	5.86
	ω , эВ	0.59	0.36	0.55	0.53

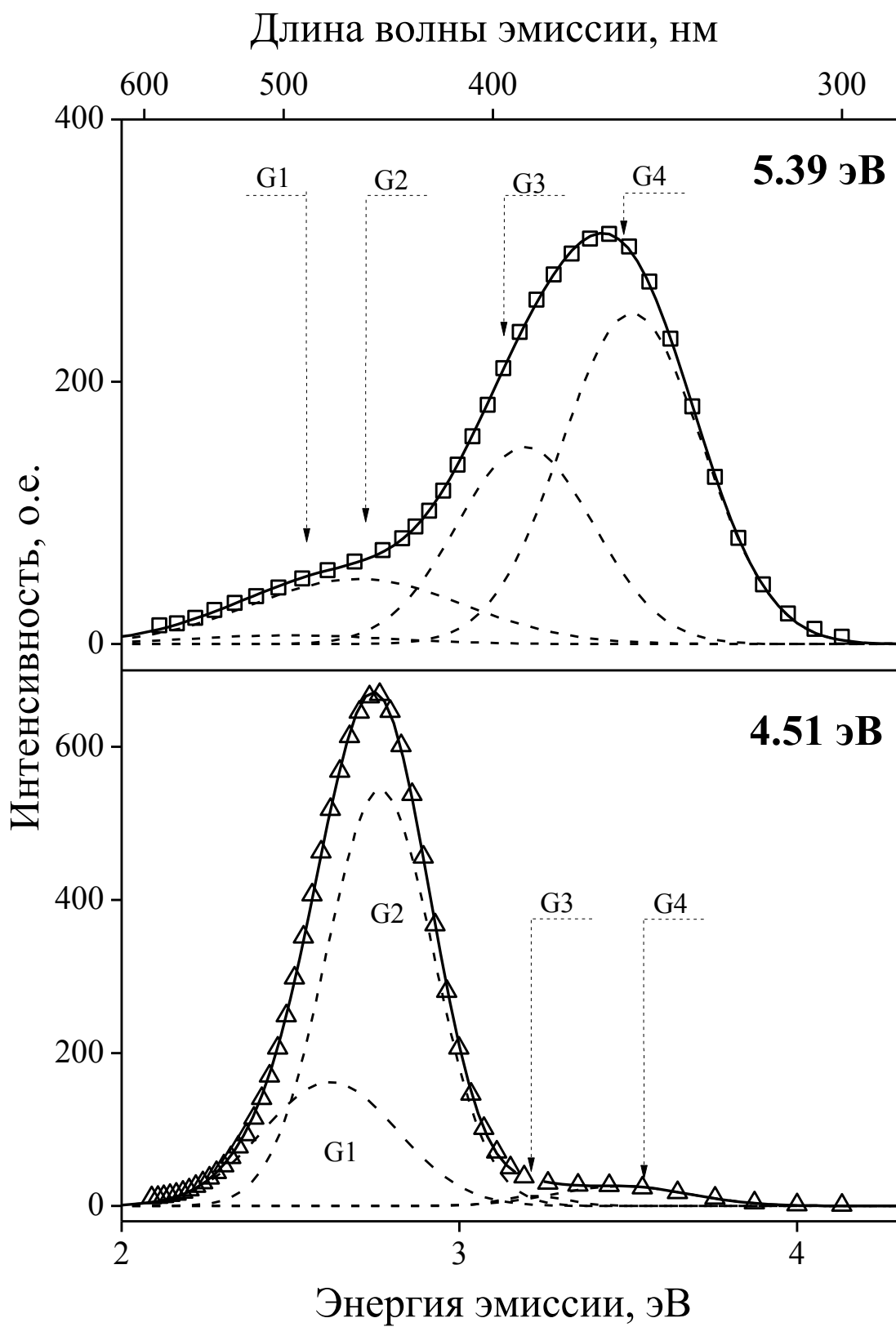


Рисунок 3.1 – Спектры свечения ФЛ AlN (символами обозначены экспериментальные данные; пунктиром – компоненты; сплошной линией – результирующие кривые)

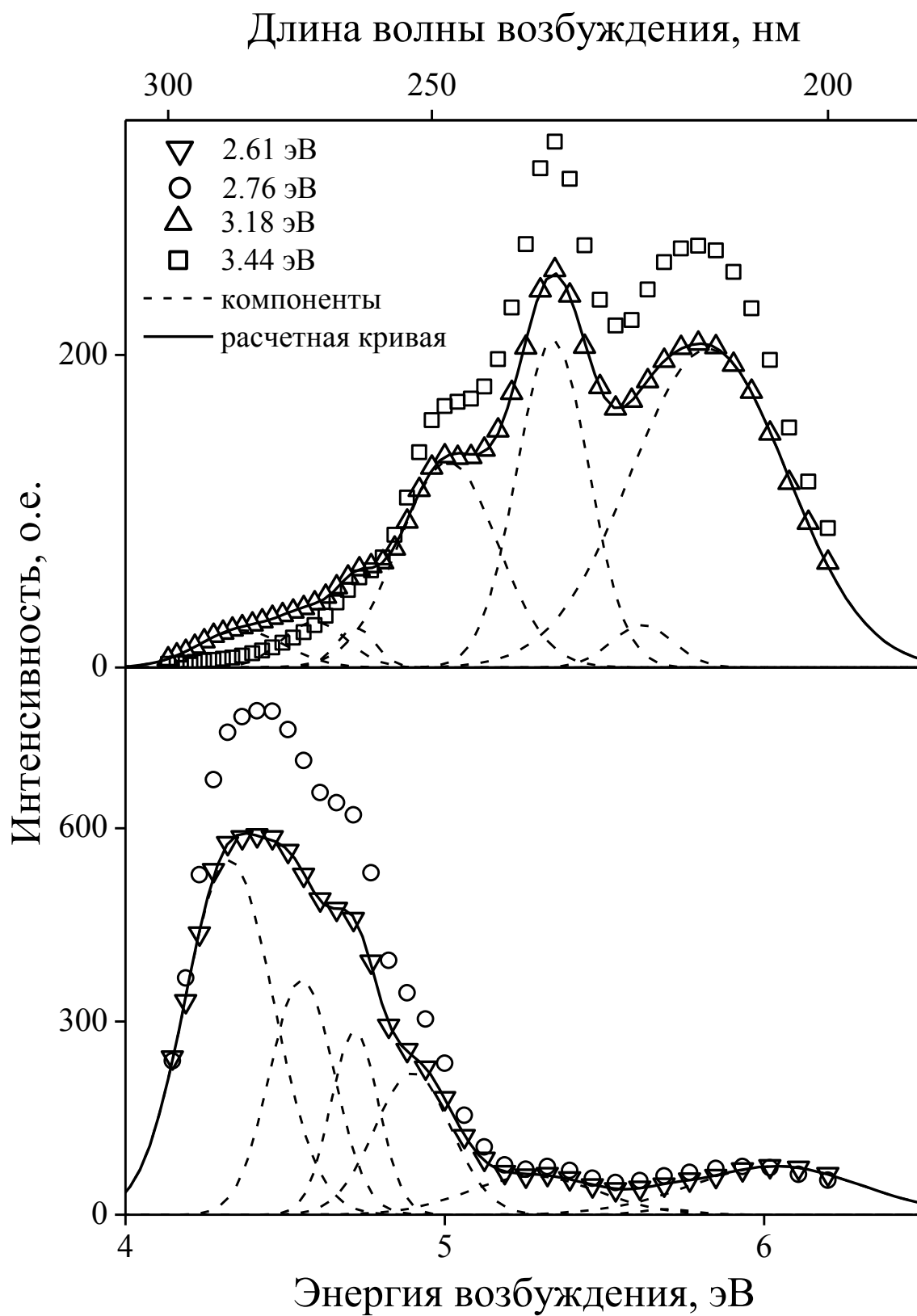


Рисунок 3.2 – Спектры возбуждения ФЛ AlN (символами обозначены экспериментальные данные; пунктиром – компоненты; сплошной линией – результирующие кривые)

Для идентификации центров свечения экспериментальные данные, полученные в настоящей работе, сравнивались с результатами независимых исследований, также посвященных изучению люминесценции в нитриде алюминия. Обнаружено, что параметры компонент G1 и G2 хорошо согласуются со свечением 2.58 и 2.75 эВ, соответственно, которое приписывается кислород-вакансионным комплексам $V_{Al}-O_N$ и доминирует в образцах AlN с развитой поверхностью [5, 6, 7]. Однако, в [8] полосу 2.63 эВ в порошках AlN связывают с рекомбинационными процессами с участием вакансий азота.

Согласно [9], свечение 3.23 и 3.51 эВ в кристаллических порошках AlN:O является следствием рекомбинации донорно-акцепторных пар, уровни которых образованы дефектами типа кислород-вакансия алюминия $V_{Al}-O_N$. В нашем случае полученные полосы G3 и G4 также можно отнести к данным рекомбинационным процессам с участием кислород-связанных центров.

3.2. Люминесценция в β -облученном нитриде алюминия

На рисунке 3.3а представлены CW-ОСЛ кривые при варьировании дозы β -облучения. Видно, что с ростом D интенсивность в начальный момент времени и светосумма увеличивается во всем исследуемом диапазоне доз.

При используемой методике измерений на CW-ОСЛ сигнал накладывается послесвечение (ПС) образцов, которое наблюдается при комнатной температуре после β -облучения, пунктирная линия на рисунке 3.3б. Отметим, что ПС характерно для облученных AlN в различных структурных состояниях и присутствует уже до включения лазера [10, 11]. После начала стимуляции интенсивность свечения резко возрастает и регистрируется уже суммарный 'CW-ОСЛ + ПС' сигнал (см. рисунок 3.3б).

Для анализа кинетических особенностей CW-ОСЛ полезный сигнал из экспериментальных зависимостей (Рисунок 3.3а) выделялся путем вычитания фона в виде кривых ПС, аппроксимированных затухающей экспонентой. Указанная математическая обработка обоснована в работе [11], где показано, что ПС облученных монокристаллов AlN характеризуется экспоненциальными компонентами с постоянными затухания 59 и 606 с.

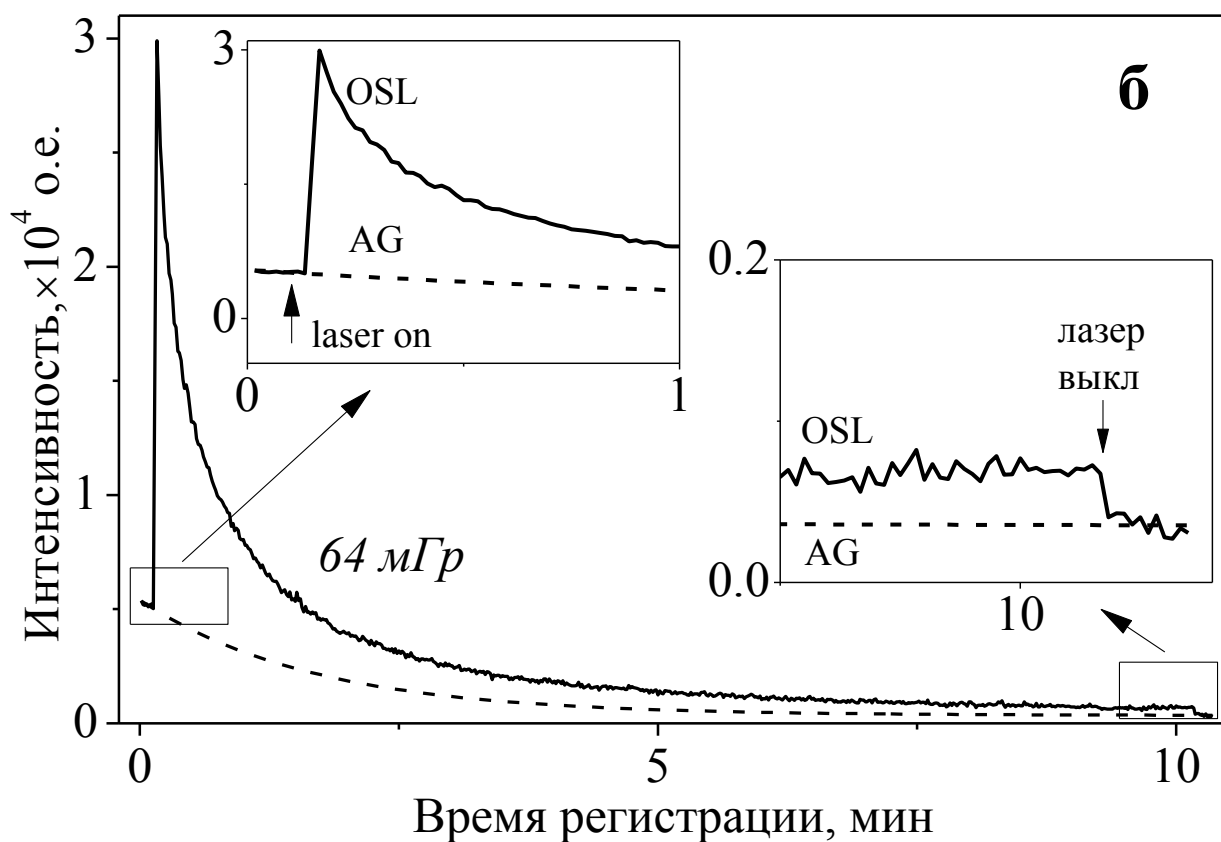
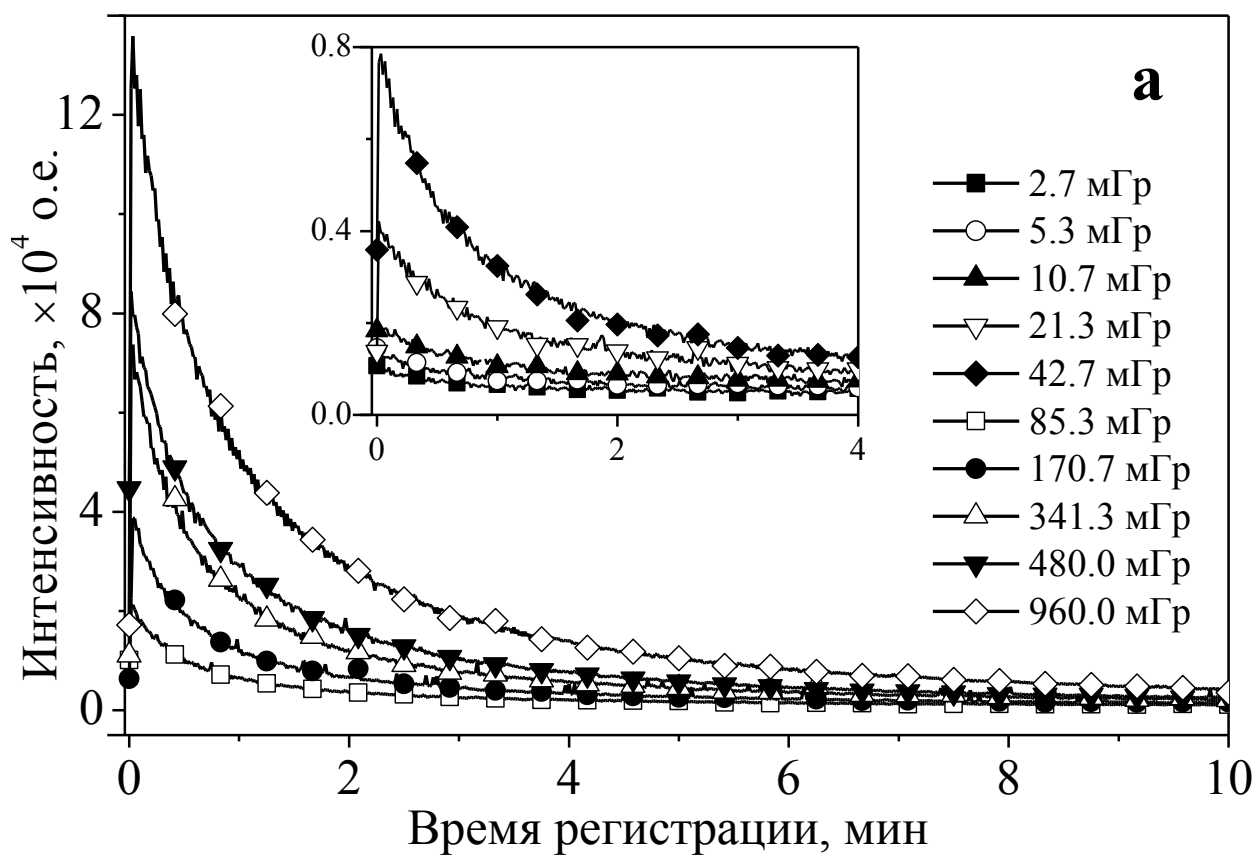


Рисунок 3.3 – Экспериментальные CW-ОСЛ кривые β -облученных монокристаллов AlN.

Доза облучения приведена.

Таблица 3.2 – Кинетические параметры CW-ОСЛ в зависимости от дозы

D , мГр	$\tau \pm 0.5$, с		$\sigma \times 10^{-19}$, см ²		R^2
	C1	C2	C1	C2	
2.7	19.4	30.3	7.7	4.9	0.871
5.3	10.9	79.3	13.6	1.9	0.930
10.7	30.9	146.3	4.8	1.0	0.960
21.3	19.1	86.9	7.8	1.7	0.988
42.7	35.3	250.3	4.2	6.0	0.994
85.3	23.6	120.1	6.3	1.2	0.997
170.7	28.5	208.5	5.2	0.7	0.996
341.3	31.7	236.6	4.7	0.6	0.997
480.0	33.1	223.7	4.5	0.7	0.998
960.0	37.5	232.7	4.0	0.6	0.998

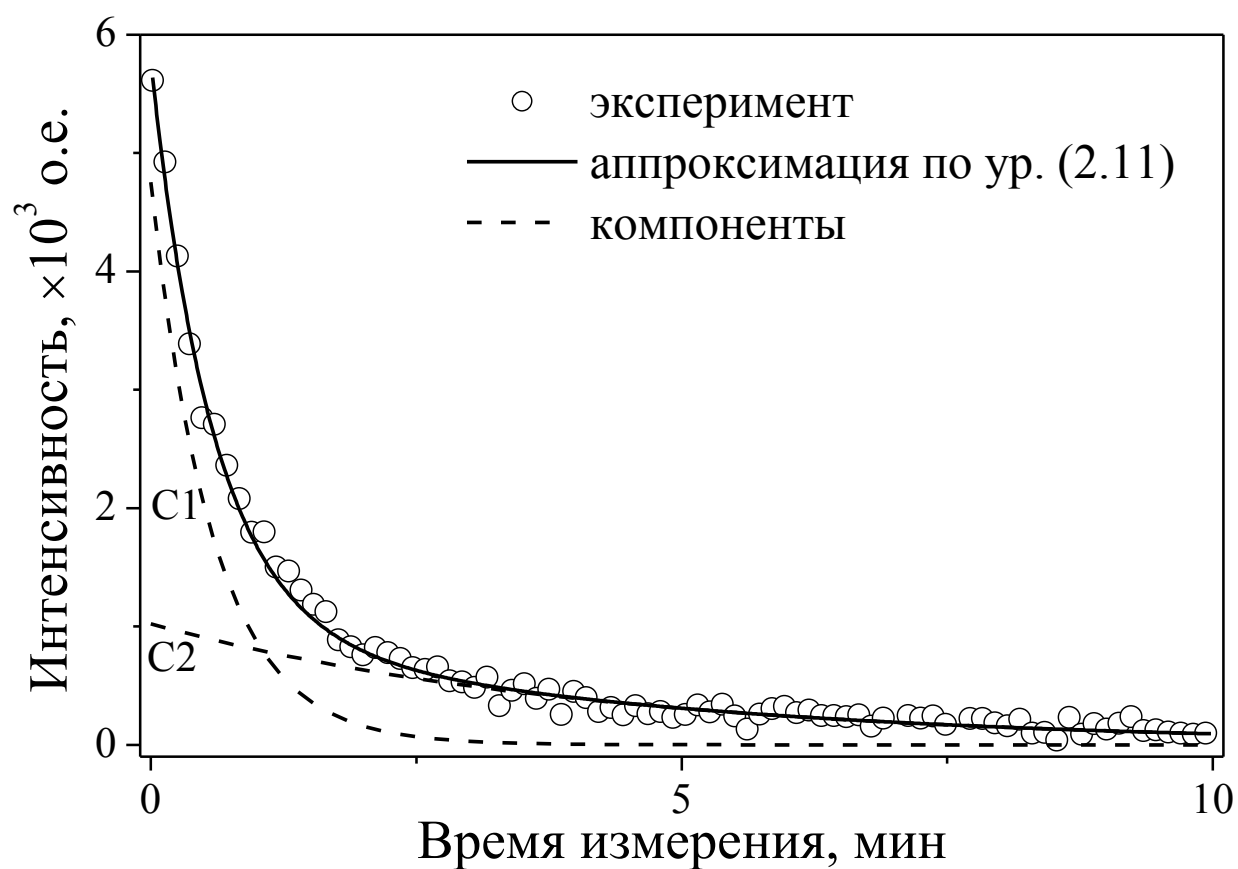


Рисунок 3.4 – Пример разложения CW-ОСЛ на экспоненты для β -облученного монокристалла AlN при $D = 42.7$ мГр.

Кинетический анализ экспериментальных CW-ОСЛ кривых с учетом ПС проведен в рамках формализма первого порядка [12]. На рисунке 3.4 показан пример аппроксимации ОСЛ кривой. Значения параметров разложения полученных CW-ОСЛ зависимостей приведены в таблице 3.2. Видно, что все кривые удовлетворительно описываются двумя экспоненциальными компонентами С1 и С2. Этот факт может быть обусловлен наличием нескольких оптически активных ловушек носителей заряда после облучения образцов β -излучением, которые эффективно опустошаются при комнатной температуре.

При увеличении дозы облучения в диапазоне $D = 2.7\text{--}960$ мГр регистрируется рост начальных интенсивностей I_0 ОСЛ-компонент. Этот факт вполне согласуется с функциональной зависимостью $I_0 = n_0/\tau$, где n_0 – концентрация заполненных ловушек носителей заряда непосредственно перед оптической стимуляцией [12]. Очевидно, что концентрация n_0 должна расти с ростом дозы облучения. Стоит отметить, что при варьировании D в диапазоне $42.7\text{--}960.0$ мГр постоянные затухания изменяются в небольших пределах $\tau \approx 32 \pm 5$ и 212 ± 43 с для компонент С1 и С2, соответственно.

Предполагая, что каждая из компонент затухания ОСЛ-сигнала связана с независимой ловушкой, проведена оценка значения сечений фотоионизации этих центров захвата по формуле [12]:

$$\sigma = \frac{1}{\tau\Phi}$$

где $\Phi = 6.7 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ – интенсивность стимулирующего излучения.

Полученные значения σ для ловушек, ответственных за компоненты С1 и С2, приведены в таблице 3.2. При $D = 42.7\text{--}960.0$ мГр рассчитанные сечения фотоионизации изменяются в небольших пределах $\sigma \approx (4.8 \pm 0.7) \times 10^{-19}$ и $(7.3 \pm 1.5) \times 10^{-20} \text{ см}^2$ для компонент С1 и С2, соответственно.

Результаты измерения ТЛ отклика до и после регистрации ОСЛ представлены на рисунке 3.5. Оценки параметров формы ТЛ пиков приведены в таблице 3.3. Видно, что ТЛ кривые представляют собой одиночный широкий бесструктурный пик положение максимумов ($T_{МАКС}$), максимальная интенсивность ($I_{МАКС}$) и светосумма ($S_{ТЛ}$) которых изменяются при оптической стимуляции. Однако, полуширина (ω) и форм-фактор (μ_g) практически не меняются. Значения $\mu_g = 0.50$ не соответствуют процессам ни первого ни второго порядка кинетики и указывают на комплексный характер регистрируемого термоактивационного свечения.

Таблица 3.3 – Геометрические параметры ТЛ-кривых

Параметр	$T_{\text{МАКС}},$ $\pm 3 \text{ К}$	$\omega,$ $\pm 3 \text{ К}$	μ_g ± 0.01	$I_{\text{МАКС}},$ $\times 10^3 \text{ о.е.}$	$S_{\text{ТЛ}},$ $\times 10^6 \text{ о.е.}$
до ОСЛ	483	101	0.50	29.4	33.0
после ОСЛ	506	104	0.50	6.4	7.6

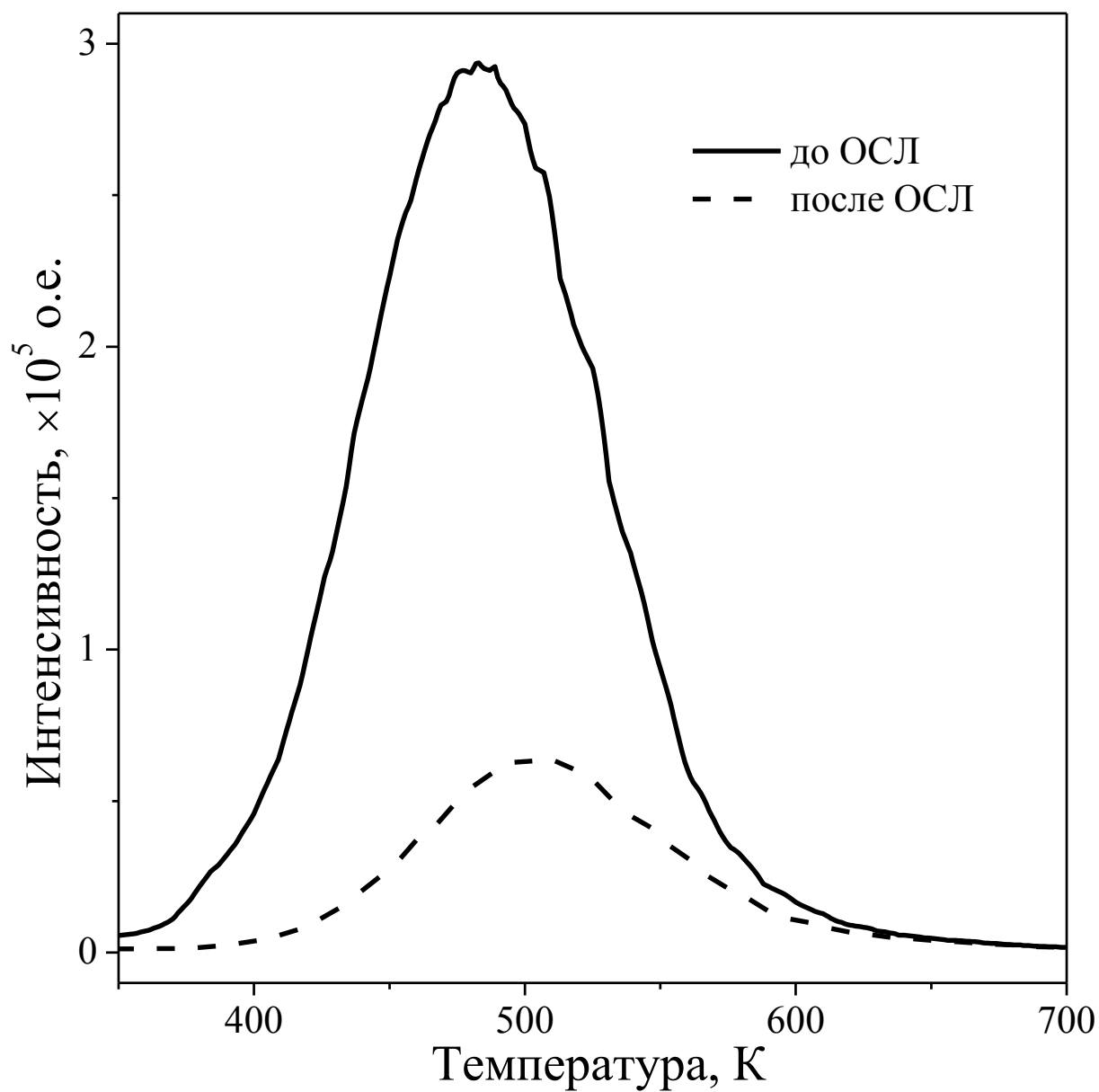


Рисунок 3.5 – ТЛ кривые до (сплошная линия) и после (пунктир) измерения ОСЛ для монокристалла AlN облученного дозой $D = 64 \text{ мГр}$.

Анализируя параметры формы ТЛ кривых (табл. Таблица 3.3) можно сделать вывод, что при лазерной стимуляции облученных образцов преобладает оптическое опустошение ловушек носителей заряда, ответственных за формирование низкотемпературной части ТЛ пика. Этот факт подтверждается уменьшением светосуммы в 4.3 раза и максимальной интенсивности в 4.6 раз, а также смещением положения максимума в высокотемпературную область на 23 К. Известно, что при хранении образцов AlN 15 мин в темноте также наблюдается падение светосуммы ТЛ в 1.2 раза и смещение пика на 5 К [11]. Аналогичные изменения формы ТЛ пиков в исследуемой спектральной области при оптической стимуляции и простом хранении указывают на участие одних и тех же ловушек носителей заряда в рекомбинационных ОСЛ и ПС процессах в облученных объемных монокристаллах AlN. На основе анализа независимых экспериментальных данных можно предположить, что регистрируемый ОСЛ сигнал обусловлен по крайней мере двумя типами ловушек, термически активными в температурном диапазоне RT–600 К. Это могут быть анионные V_N - и O_N -центры в различных зарядовых состояниях, которые образуют системы разрешенных энергетических уровни захвата электронов в облученном AlN вблизи дна зоны проводимости [13, 14].

3.3. Дозовые зависимости ОСЛ для монокристаллов AlN

Далее в настоящей работе был проведен анализ дозовых зависимостей для светосуммы (S) и максимальной интенсивности ($I_{МАКС}$) ОСЛ сигнала без и с учетом кривых ПС. Указанные характеристики приведены на рисунке 3.6. Видно, что зависимость $S(D)$ с учетом ПС является линейной с тангенсом угла наклона в двойных логарифмических координатах $k = 1.02 \pm 0.01$. Когда ПС сигнал не учитывается, зависимость $S(D)$ является существенно нелинейной – $k = 0.87 \pm 0.01$. В тоже время, для зависимостей $I(D)$ – $k = 0.97 \pm 0.03$ для обоих случаев. Таким образом, исследуемый ОСЛ сигнал от β -облученных монокристаллов AlN может быть использован для оценки поглощенной дозы.

Значительное влияние ПС на дозовые CW-ОСЛ зависимости наблюдается также для порошков и керамики на основе AlN при облучении УФ светом [15, 16]. Отметим, что наблюдаемое послесвечение, определяющее нелинейность характеристики, является одним из каналов фединга дозиметрической информации. В этой связи, вышеприведенные данные указывают на необходимость учета ПС при использовании монокристаллов AlN в качестве материала для β -дозиметрии методом оптически стимулированной люминесценции.

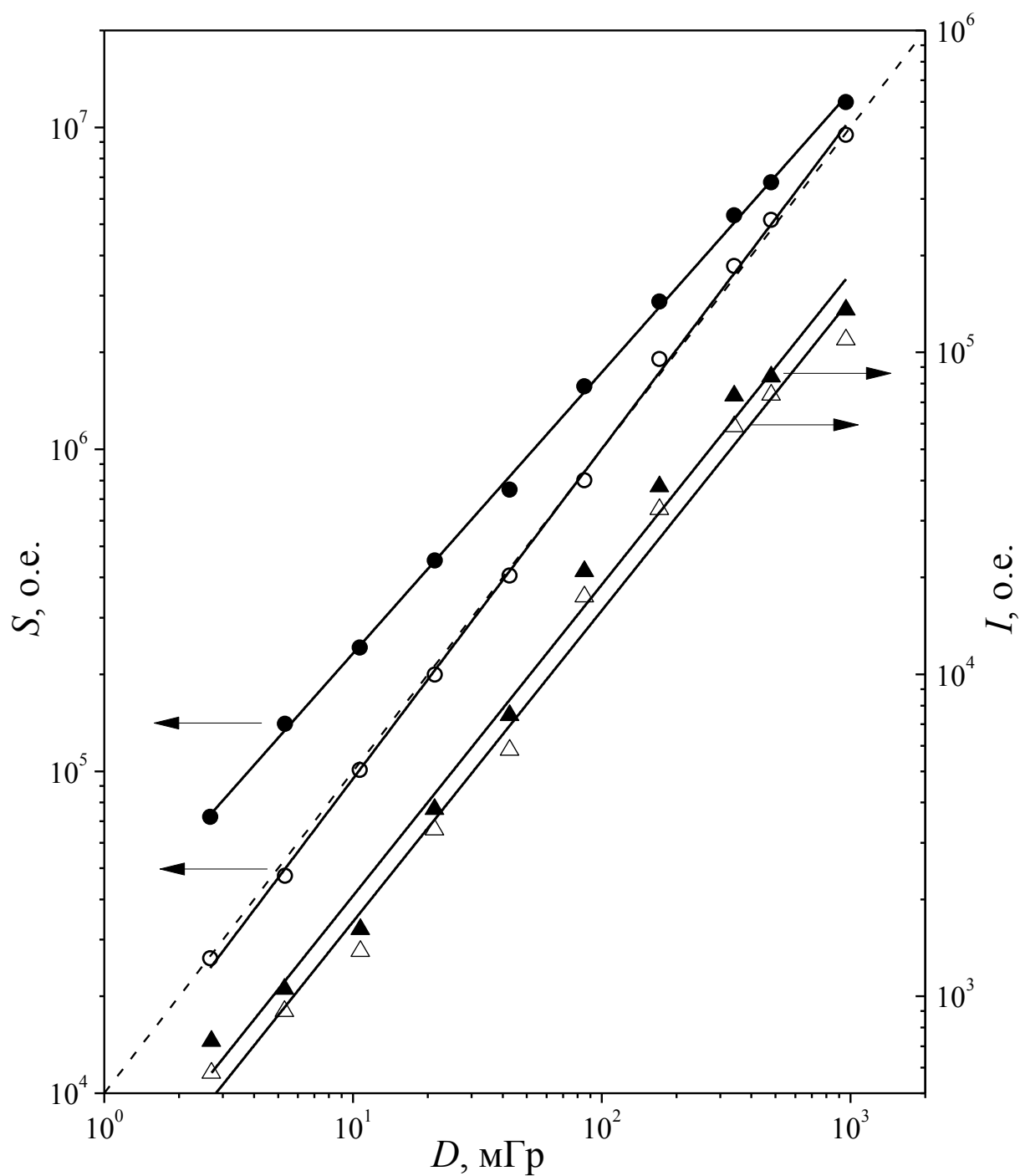


Рисунок 3.6 – Дозовые зависимости CW-ОСЛ для \square -облученного монокристалла AlN с (пустые кружки) и без (заполненные кружки) учета послесвечения. Сплошная линия – линия аппроксимации, пунктирная – идеальная дозовая зависимость ($k = 1$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы проведено исследование особенностей фото-, термо- и оптически стимулированной люминесценции в β -облученных объемных монокристаллах нитрида алюминия. На основании полученных данных сделаны следующие выводы:

1. При исследовании фотостимулированного свечения в образцах AlN установлено, что в эмиссионном составе ФЛ можно выделить две пары взаимосвязанных гауссовых компонент: первая – с максимумами при энергиях 2.61 и 2.76 эВ, вторая – 3.18 и 3.44 эВ. При этом доминирующими являются пики 2.76 и 3.44 эВ.
2. Спектры возбуждения фотолюминесценции в исследуемых монокристаллах AlN характеризуются сложной многокомпонентной структурой и могут быть представлены в виде суперпозиции нескольких (5 – 7) гауссианов.
3. Основными люминесцирующими дефектами в таких специально нелегированных кристаллах являются кислородные примеси и образованные на их основе комплексы с участием катионных и анионных вакансий. Свечение 2.61 эВ обусловлено рекомбинационными процессами с участием вакансий азота V_N . Полосы 2.76, 3.23 и 3.51 эВ являются следствием рекомбинации донорно-акцепторных пар, уровни которых образованы дефектами $V_{Al}-O_N$.
4. Полученные дозовые зависимости ОСЛ-отклика при учете послесвечения в монокристаллах имеют линейные характеристики в диапазоне изменения поглощенной дозы ионизирующего излучения $10^{-3} - 1$ Гр. Когда послесвечение не учитывается, зависимость становится существенно нелинейной.
5. Вследствие высокой чувствительности к ионизирующему излучению, линейности дозовых характеристик как при термо-, так и при оптической стимуляции монокристаллы нитрида алюминия являются весьма перспективным материалом для использования в персональной и технической ТЛ- и ОСЛ-дозиметрии ионизирующих излучений, в системах и приборах on-line мониторинга радиационной обстановки окружающей среды, а также для экспресс-анализа мощности пучка в клинической радиотерапии

Работа выполнена в НОЦ «Наноматериалы и нанотехнологии» совместно с Чайкиным Д. В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Yu.N. Makarov, O.V. Avdeev, I.S. Barash, D.S. Bazarevskiy, et al. *Journal of Crystal Growth* 310 (2008) 881–886
- 2 J.-M. Maki, I. Makkonen, F. Tuomisto, A. Karjalainen, S. Suihkonen, J. Raisanen, T. Yu. Chemekova, Yu. N. Makarov, *Phys. РЭВ. В* 84 (2011) 081204-1.
- 3 Пеленев В.Е., Кортов В.С., Экспериментальный комплекс для изучения глубоких ловушек дозиметрических анион-дефектных монокристаллов $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ // Проблемы спектроскопии и спектрометрии. Межвузовский сборник. Екатеринбург. – 1999. – В. 3. – С. 92–97.
- 4 Вохминцев А.С., Термолюминесценция в полосе 2,4 эВ облученных анионодефектных монокристаллов оксида алюминия / Автореферат канд. физ.-мат. наук. 01.04.07. Екатеринбург. 2009. 24 с.
- 5 L. Trinkler, B. Berzina, in: C. Sikalidis (Ed.), *Advances in Ceramics – Characterization, Raw Materials, Processing, Properties, Degradation and Healing*, InTech, 2011, pp. 59 – 82
- 6 Quanli Hu et al. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* 191 (2002) 536-539
- 7 Quanli Hu et al. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* 141 (1998) 404-410
- 8 Y.C.Lan et al. *Journal of Crystal Growth* 207 (1999) 247-250
- 9 S. Pacesova, L. Jastrabik, *Czech. J. Phys. B* 29 (1979) 913
- 10 A. S. Vokhmintsev, I. A. Weinstein, D. M. Spiridonov, D. A. Beketov, and A. R. Beketov, *Tech. Phys. Lett.* 38, 160 (2012).
- 11 A. S. Vokhmintsev, I. A. Weinstein, and D. M. Spiridonov, *J. Luminescence*, 132, 2109 (2012).
- 12 L. Botter-Jensen, S.W.S. McKeever, and A.G. Wintle, *Optically Stimulated Luminescence Dosimetry* (Elsevier, New York, 2003), p. 355.
- 13 I. A. Weinstein, A. S. Vokhmintsev, and D. M. Spiridonov, *Diamond Rel. Mater.* 25, 59 (2012).
- 14 T. Mattila and R. M. Nieminen, *Phys. Rev. B* 55, 9571 (1997).
- 15 A. S. Vokhmintsev, I. A. Weinstein, D. M. Spiridonov, D. A. Beketov, and A. R. Beketov, *Tech. Phys. Lett.* 38, 160 (2012).
- 16 L. Trinkler, L. Bøtter-Jensen, P. Christensen, and B. Berzina, *Radiat. Prot. Dosim.* 92, 299 (2000)